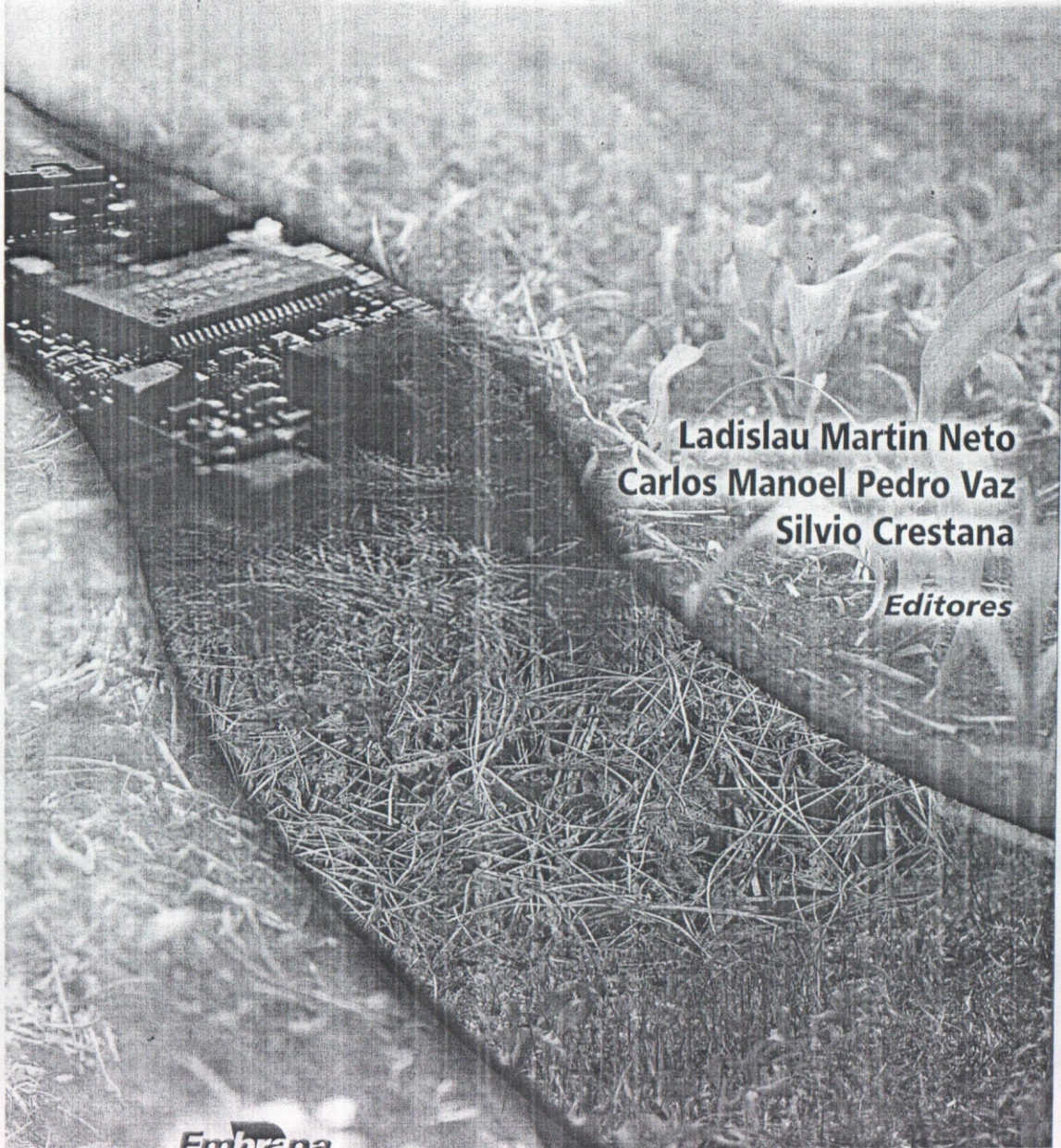


Instrumentação avançada em ciência do solo



Ladislau Martin Neto
Carlos Manoel Pedro Vaz
Silvio Crestana
Editores

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 5
Embrapa Instrumentação Agropecuária)
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 7
)
l
3
)
)
3
5

Instrumentação avançada em ciência do solo 4
5

Editores 5

Ladislau Martin Neto

Carlos Manoel Pedro Vaz 5

Sílvio Crestana 7

0

1

1

3

6

7

Embrapa Instrumentação Agropecuária 8

São Carlos, SP 9

2007 7

Exemplares dessa publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Rua XV de novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 – São Carlos-SP
Fone: (16) 2107-2800
Fax: (16) 2107-2902
<http://www.cnpdia.embrapa.br>
e-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo,
Valéria de Fátima Cardoso
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Júnior

Supervisor editorial: Dr. Victor Bertucci Neto
Normalização Bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Capa: Alex Paixão e Valentim Monzane
Foto da capa: Lúcio André do Castro Jorge e Valentim Monzane
Editoração eletrônica: Carlos Manoel Pedro Vaz e Emerson de Stefani

1ª edição

1ª impressão (2007): tiragem: 350

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Instrumentação Agropecuária**

I59 Instrumentação avançada em ciência do solo. / Ladislau Martin Neto, Carlos
Manoel Pedro Vaz, Sílvio Crestana editores. – São Carlos:
Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.
438 p.

ISBN: 85-86463-14-0

1. Solos. 2. Métodos Avançados. 3. Equipamentos. 4. Instrumentos. 5. Modelamento
6. Imagem. I. Martin Neto, Ladislau. II. Vaz, Carlos Manoel Pedro. III. Crestana, Sílvio.

<i>Processamentos morfológicos</i>	378
Aplicação do processamento de imagens no estudo do sistema radicular	383
<i>Principais métodos utilizados para coleta de informações de raízes</i>	384
<i>Métodos de raízes lavadas</i>	385
<i>Métodos do perfil de solo</i>	386
<i>Técnicas de imagens digitais na avaliação de raízes</i>	388
<i>Análise de raízes lavadas</i>	389
<i>Análise de raízes em perfil do solo</i>	390
Aplicação do processamento de imagens no estudo da morfologia do solo	393
Processamento de imagens no estudo da cobertura do solo	402
<i>Cobertura vegetal e erosão</i>	403
<i>Determinação da cobertura do solo por imagens</i>	405
<i>Torres de filmagem</i>	408
<i>Aeronaves</i>	410
<i>Análise das imagens aéreas</i>	411
<i>Obtenção das imagens</i>	411
<i>Pré-processamento das imagens</i>	418
<i>Processamento das imagens</i>	418
Referências.....	428

Avanços da instrumentação em Ciência do Solo

Carlos Manoel Pedro Vaz

Ladislau Martin Neto

Sílvio Crestana

Introdução

A Ciência do Solo surgiu há cerca de 150 anos atrás, inicialmente como um subproduto da pesquisa em agricultura e desenvolveu-se de forma mais intensa após a segunda guerra mundial, tendo trazido, neste novo milênio, outras mudanças e novas oportunidades.

O solo é a porção superficial da terra que fornece o suporte para a vida. Conhecido por sua função de fornecer nutrientes e água para a sustentação da agricultura e ecossistemas, ele é importante também para a sociedade na recarga de água subterrânea e disposição de resíduos e como fonte de materiais de construção e atividades de manufaturas. De uma forma mais geral, este meio poroso estruturado e biologicamente ativo, chamado de *pedosfera*, media a maioria das interações químicas e bioquímicas entre a superfície da terra, as águas subterrâneas e a atmosfera. Por exemplo, o carbono orgânico é reciclado da atmosfera para o solo e cerca de 25% do carbono atmosférico vem de reações de oxidação biológica na pedosfera, a qual contém 2 vezes mais carbono que a atmosfera e 3 vezes mais carbono que toda a vegetação (WILDING e LIN, 2006).

Já em 1862, Friedrich Albert Fallon escreveu (SPARKS, 1988):

Não há nada em toda a natureza que seja mais importante ou que mereça mais atenção que o solo. Verdadeiramente, é o solo que nutre e fomenta toda a natureza, o conjunto da criação depende do solo, que é o alicerce da nossa existência.

Mermut e Eswaram (2001) sintetizaram alguns dos principais desenvolvimentos da Ciência do Solo desde meados de 1960, os quais são resumidamente descritos a seguir, com adição, em alguns casos, de outras informações pelos autores deste capítulo.

Levantamento e mapeamento de solos

Grandes avanços foram obtidos com os programas de documentação global dos recursos de solos apoiados pela FAO-UNESCO (1974), os quais trouxeram também significativos avanços nos métodos de análise dos solos (VAN BAREN et al. 2000). Qualquer que tenha sido a motivação por trás dessa iniciativa, o resultado foi um esforço sistemático para a documentação global de recursos de solos e o melhor entendimento dos fatores e processos que controlam a formação dos solos e a produtividade das culturas. Durante a última década, a tecnologia da informação, com o uso de sistemas de informação geográficas (SIG), sistemas de posicionamento global (GPS) e bases de dados têm melhorado consideravelmente a apresentação e a utilização das informações dos levantamentos de solos. Tem ocorrido também significativos desenvolvimentos em instrumentação para medidas *in-situ* de propriedades dos solos, que é um aspecto crítico nos levantamentos. A tecnologia da informação com a utilização de coletores de dados e outros equipamentos e instrumentos facilita o processo de levantamento de solos. Análises de mapas com a lógica *fuzzi* ou outros programas de análise espacial, raramente utilizados no passado, possibilitam novas formas de controle de qualidade e validação. Com o advento de computadores rápidos e da tecnologia da informação tem havido novas demandas em termos de dados para o modelamento de processos e teste de conceitos. Devido ao fato de que novos grupos de clientes têm valorizado e buscado informações sobre solos, a demanda por informações mais rápidas e precisas tem crescido.

Sistemas de informação e comunicação

Dados da base CABI e ISI mostram que há, atualmente, cerca de 10 mil publicações em ciência do solo por ano, com uma grande quantidade de revistas especializadas na área, cerca de 60 das quais pertencentes à lista das mais citadas (MACDONALD, 1994). De acordo com Yaalon e Arnold (2000), o interesse na área de ciência do solo tem aumentado, com cerca de 50 mil cientistas do solo trabalhando em instituições agronômicas voltadas para todos os seus aspectos. A tecnologia da informação tem melhorado não só a capacidade de manipulação da informação, mas aumentado também a demanda por dados (VAN

ENGELLEN e SOTER, 2000). Modelos de simulação necessitam de dados georreferenciados para sua efetiva aplicação e, por esse motivo, verifica-se uma utilização mais intensa de modelamentos, principalmente em países mais desenvolvidos onde há grande quantidade de dados disponíveis e catalogados. A carência de dados em diversos países pode ser minimizada por meio de esforços de colaboração entre cientistas e instituições de diferentes países e regiões. Entretanto, verifica-se uma carência muito maior de informações e comunicação em países das regiões tropicais do planeta, apesar da grande importância dessas regiões para a produção de alimentos, fibras e energia.

Tecnologias de manejo de solos

Dentre as diversas tecnologias desenvolvidas nas últimas duas décadas objetivando a redução na utilização de insumos e a diminuição da degradação do solo ou impacto ambiental das atividades agrícolas, as técnicas de manejo conservacionistas, a de agroflorestas e a agricultura de precisão são as que provavelmente apresentaram os resultados mais positivos e são descritas a seguir.

As técnicas de manejo conservacionistas, como a de plantio ou semeadura direta, representam, provavelmente, as mudanças mais importantes da história da agricultura moderna. Essas técnicas possibilitam uma diminuição drástica no risco de erosão, com a manutenção ou mesmo incremento na produtividade e diminuição dos custos de produção. Elas foram introduzidas nos EUA e são largamente utilizadas atualmente na América do Sul, Austrália e Europa (menos extensivamente). Cerca de 37% das terras agricultáveis nos EUA são atualmente manejadas por técnicas conservacionistas (LAL et al., 1999). No Brasil, uma evolução fantástica ocorreu nos últimos 15 anos, principalmente na adoção do sistema de plantio direto, iniciado nos anos 70 no Sul do país. Já em 1990, havia 1 milhão de hectares e, em 2005, cerca de 20 milhões de hectares plantados com culturas de grãos (40 % do total de área cultivada com grãos), incluindo-se também expressivas áreas na região de Cerrados. Há, ainda, um importante espaço para avanço do plantio direto e, associado com o sistema de integração lavoura-pecuária, poderá incorporar novas áreas no Brasil consolidando ainda mais a posição de destaque do Brasil em práticas de manejo agrícola sustentável em regiões tropicais. Os sistemas agroflorestais surgiram nos anos 80, sendo uma combinação do cultivo de árvores com crescimento rápido e agricultura, que inclui também o suporte para a

pecuária. Esses sistemas fornecem habitat para a biodiversidade e diversos outros benefícios como o aumento do seqüestro de carbono (SCHROEDER, 1994). A agricultura de precisão é uma técnica de manejo que considera as necessidades locais específicas de determinadas culturas em função da variabilidade espacial dos solos. O fato de possibilitar economia de insumos e de minimizar efeitos de contaminação ambiental indica uma nova era da agricultura.

Microscopia de solos (micromorfologia e micromorfometria)

As técnicas microscópicas possibilitam o estudo *in vitro* de solos. A maioria dos trabalhos em micromorfologia no pós-guerra está focada na melhoria da qualidade das lâminas e no desenvolvimento de termos e esquemas para descrições e interpretações. Com base nos conceitos introduzidos por Kubiena (BREWER, 1976), FitzPatrick (1984) e Bullock et al., (1985), as terminologias foram sistematicamente refinadas, e uma publicação de referência foi o Glossário de Micromorfologia publicado por Jongerius e Rutherford (1979). O advento da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e de microsonda aumentou a magnificação e possibilitou a avaliação de áreas muito pequenas nas superfícies das partículas (SMART e TOVEY, 1982), trazendo uma nova dimensão para o entendimento dos solos.

Pedologia e classificação de solos

Os 50 anos de progresso na gênese de solos, classificação e cartografia, desde a criação da Sociedade Internacional de Ciência do Solo em 1924, foram sumarizados por Kellog (1974). Para quantificar as mudanças do sistema solo foi introduzido um novo conceito chamado pedometria, no qual Webster (1994) descreveu como sendo essencial a aplicação da probabilidade e estatística em solos. A pedometria, embora ainda uma ferramenta de pesquisa, tem o potencial de complementar levantamentos convencionais de solos e é uma técnica de grande importância para a agricultura de precisão. Os principais avanços na classificação de solos ocorreram nas décadas de 70 e 80. Os primeiros sistemas de classificação de solos não tinham definições quantitativas e não eram rígidos nas suas estruturas. O Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) foi o primeiro sistema a definir quantitativamente os horizontes diagnósticos e a introduzir a chave na classificação dos solos. O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos sofreu, em 1999, sua última revisão, e as

principais mudanças introduzidas foram: i) revisão geral de conceitos, ii) estrutura hierárquica, iii) novos atributos e horizontes diagnósticos, iv) nova estrutura, v) níveis categóricos, vi) chave de classificação, vii) nova nomenclatura¹.

Componentes do solo

Desenvolvimentos em instrumentação contribuíram para o avanço no entendimento dos componentes do solo e isso deverá continuar no futuro. Dentre esses desenvolvimentos destacam-se a difratometria de raios-X, a espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), a ressonância magnética nuclear (RMN), a espectroscopia Mossbauer, a espectroscopia fotoeletrônica de raios-X (XPS), a espectroscopia eletrônica Auger, a microscopia de força atômica (AFM) e as microscopias de varredura por sonda (SPM), os quais possibilitam um grande avanço na caracterização superficial dos componentes dos solos no nível atômico (SPARKS, 1998). A função de minerais na dinâmica e destino de poluentes tóxicos tem sido estudada apenas recentemente e a ênfase principal da mineralogia de solos deverá ser, nas próximas décadas, no estudo dos componentes do solo do ponto de vista da proteção ambiental e sustentabilidade. Avanços em instrumentação têm também ajudado no entendimento dos componentes orgânicos dos solos. A RMN de C-13 no estado sólido, FTIR e pirólise analítica são técnicas atualmente utilizadas para a avaliação da estrutura química do carbono orgânico.

Fertilidade do solo e manejo

Diversas tecnologias que surgiram nas últimas décadas possuem grande potencial de alterar a fertilidade do solo, como as citadas no item *Tecnologias de manejo de solos* deste capítulo. Nos últimos 50 anos, o conceito de fertilidade da agricultura tropical foi se desenvolvendo gradualmente e hoje não se considera mais esses solos como marginais devido aos problemas de acidez e nutrientes. Os processos de difusão e fluxo de massa de nutrientes na rizosfera foram mais bem compreendidos a partir de 1970 (BALBER, 1984) e hoje se sabe que as plantas influenciam o solo no ambiente radicular, sugerindo a necessidade de mais pesquisas para um melhor entendimento da rizosfera. Neste cenário,

¹ <http://www.cnps.embrapa.br/sibcs/index.html>

existe um grande campo para o desenvolvimento de novas metodologias, como o uso de membranas de resina de troca iônica para o entendimento do fornecimento de íons para as plantas (QIAN et al., 1992). A pesquisa em fertilidade do solo é uma parte integrante da busca pela agricultura sustentável, mas a pesquisa clássica deve ser complementada com trabalhos de simulação com modelos que considerem o sistema solo-água-planta como um todo.

Poluição ambiental

A preocupação hoje é a grande quantidade de poluentes gerados pela população e o sobrecarregamento dos componentes do ecossistema com materiais tóxicos, sendo a poluição ambiental e seus efeitos na saúde humana e de outros animais, preocupações públicas muito sérias (BRENDENCKE e PEPPER, 1996). Dados de Nriagu e Pacyna (1988) mostram que ocorre anualmente o aporte de milhões de toneladas de metais pesados como Cd, Cr, Cu, Pb, Mn, Hg, Mo, Ni e Zn nos solos em todo o mundo e que são poucos os locais livres de algum tipo de poluição por metais pesados. A descoberta e utilização dos pesticidas orgânicos sintéticos fizeram crescer a preocupação ambiental devido à ocorrência de contaminações de águas subterrâneas, superficiais e solos, levando a um aumento considerável no número de pesquisas sobre o transporte de poluentes em meios porosos. Entretanto, muita pesquisa é necessária ainda nesta área (SAWHNEY e BROWN, 1989). Um grande número de metodologias tem sido desenvolvido para a descontaminação dos solos, como a biorremediação (SKIPPER e TURCO, 1995). A aplicação de lodo de esgoto tem sido uma prática comum, por motivos práticos e econômicos, mas o efeito de metais tóxicos nesses resíduos pode afetar as plantas e águas subterrâneas e superficiais e, conseqüentemente, a saúde humana (LAMY et al., 1993). Altas concentrações de fertilizantes minerais encontrados em águas subterrâneas são devidas às práticas agrícolas, e outra preocupação importante com os fertilizantes, especialmente os fosforados é a presença de elementos traços (MERMUT et al., 1996), enquanto que os fertilizantes nitrogenados trazem preocupações quanto à eutrofização de água superficiais.

Degradação do solo e sustentabilidade

Os 5 grupos de degradação de solos reconhecidos pela FAO (FAO-UNEP, 1983) são erosão pela água, erosão pelo vento, salinização,

degradação química, degradação física e degradação biológica. Young (1998) reporta que cerca de 5 % das terras agricultáveis de países em desenvolvimento foi perdida por degradação, a produtividade tem sido apreciavelmente reduzida em pelo menos 25 %, cerca de 10 % das terras irrigadas estão salinizadas, atingiu-se o limite de disponibilidade de água em regiões semi-áridas e que aproximadamente 0,8 % das florestas tem sido perdidas anualmente nos últimos 10 anos nas regiões tropicais. Baseado em informações já existentes, programas, protocolos, convenções e tratados internacionais estão dando muito mais importância às questões de degradação e desertificação dos solos.

Qualidade do solo e sustentabilidade

O conceito de qualidade do solo, concebido para caracterizar o uso e a saúde do solo, é muito novo e continua a se desenvolver (DORAN et al., 1994). A discussão atual sobre qualidade do solo está focada na seleção das suas características básicas, que deveriam ser levadas em consideração para o estabelecimento de índices ou indicadores (SINGER e EWING, 2000). Smith et al. (1994) defendem que a qualidade do solo é o principal fator para a sustentabilidade da biosfera e sugerem um indicador de múltiplas variáveis que possa ser utilizado para produzir mapas probabilísticos.

Ciclo e seqüestro de carbono

O carbono é um dos componentes essenciais da vida e tem funções muito importantes no sistema solo. A quantidade de carbono armazenado nos ecossistemas terrestres é alta, sendo o estoque de carbono orgânico de cerca de 1526 Pg e o de carbono inorgânico de cerca de 756 Pg (ESWARAM et al., 1999). A taxa estimada de conversão é de cerca de 0,1 % do total armazenado. Cerca de 75 % do carbono terrestre total ocorre no solo, e o estoque acima da superfície é de 500 Pg. Portanto, o solo é essencial em termos de seqüestro de carbono. De acordo com Middleton e Thomas (1997), solos de terra firme armazenam 60 vezes mais carbono que o carbono incorporado na atmosfera pela queima de combustíveis fósseis. As terras firmes cobrem uma área de 450 milhões de ha e, portanto, uma pequena mudança na taxa de seqüestro de carbono em regiões de terra firme pode ter grande impacto no CO₂ da atmosfera. Um outro aspecto muito importante é que cerca de 50 % da matéria orgânica do solo é perdida pela camada superficial devido a práticas

intensivas de cultivo. Solos não cultivados e em equilíbrio com a vegetação nativa acumulam grande reservas de matéria orgânica e o cultivo provoca uma ruptura neste equilíbrio dinâmico (LAL et al., 1999). A perda do carbono primário do solo pode ser recomposta com o uso de boas práticas de cultivo, em um tempo estimado de 25 a 50 anos (LAL et al., 1998).

Novas oportunidades em instrumentação para a caracterização de solos

O material do solo é complexo, pois é um meio poroso natural formado pela ação do clima e microorganismos no material rochoso de origem que depende ainda do tempo e relevo. Como resultado desse processo, o solo tem grande variabilidade e heterogeneidade, apresentando grande número de minerais e materiais orgânicos na sua composição. O sistema poroso do solo influencia os processos de transporte e armazenamento de água e, conseqüentemente, a adsorção e reações de solutos na solução.

Embora os cientistas do solo tenham estudado os sistemas porosos há muitos anos, existem relativamente poucas metodologias e equipamentos para caracterizar o solo de uma forma não invasiva. Os métodos não invasivos podem ser definidos como aqueles que determinam características ou propriedades de um material sem interferir nele. De uma forma mais prática, um método é considerado não invasivo na pesquisa em ciência do solo quando a amostra coletada ou avaliada *in situ* mantém sua estrutura ou propriedades durante a análise.

Novas metodologias e instrumentos têm se tornados disponíveis e estão sendo testadas e empregadas por cientistas do solo. Algumas dessas oportunidades têm sido descritas por vários autores como Sposito e Reginato (1992), Kutilek e Nielsen (1994), Wagenet e Bouma (1996) e Crestana e Vaz (1998). Dentre essas oportunidades, destacam-se a tomografia e microtomografia computadorizada de raios X ou gama (descrita em detalhes no capítulo 4 deste livro) para a caracterização porosa do solo; a microscopia de força atômica e tunelamento que permite ir à nanoescala (10^{-9} m), caracterizar e eventualmente manipular as partículas dos solos (Ferreira et al., 2001) numa escala até recentemente impossível, e que ainda deverá impactar a ciência do solo, nos moldes que a nanociência e nanotecnologia já estão fazendo com a física, química, eletrônica, ciência dos materiais, informática, telecomunicações entre outras; as técnicas espectroscópicas de

ressonância magnética nuclear (RMN), ressonância paramagnética eletrônica (RPE), espectroscopia de infravermelho (FTIR) e UV-visível (descritos em detalhes nos capítulos 2 e 5), para a caracterização da matéria orgânica dos solos (Martin-Neto et al., 1998; 2001); a reflectometria no domínio do tempo-TDR, para a medida da umidade e condutividade elétrica volumétrica dos solos, descrita no capítulo 3; técnicas de processamento de imagens (descritas no capítulo 7); e os modelos de estimativa de propriedades hídricas e da erosão do solo, descritos no capítulo 3 e 6, respectivamente. Um conjunto de referências nacionais muito importantes e úteis neste tema são os quatro volumes de Tópicos em Ciência do Solo, publicados pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (NOVAES et al., 2000; ALVAREZ et al., 2002; CURI et al., 2003; VIDAL-TORRADO et al., 2005).

A nanotecnologia também surge nos dias de hoje como uma nova ciência que, sem dúvida, trará impacto e mudanças de paradigmas para a ciência do solo. O uso de novos materiais para aplicação de insumos, condicionantes de solos e mesmo o entendimento do efeito de nanopartículas naturais dos solos nas suas propriedades e características podem despontar como temas emergentes de pesquisa nessa área.

Referências

- ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, L. M. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v. 2. 692 p.
- BARBER, S. A. **Soil Nutrient Bioavailability**. 2nd ed. New York, NY: Wiley, 1984, 403 p.
- BRENDECKE, J. W.; PEPPER, I. L. The extent of global pollution. In: PEPPER, I. L.; GERBA, C. P.; BRUSSEAU, J. L. (Ed.). **Pollution Science**. New York: Academic Press, 1996. Chap. 1. p. 3-8.
- BREWER, R. **Fabric and Mineral Analysis of the Soils**. 2nd print. Huntington, New York: Robert E. Krieger Publisher, 1976. 470 p.
- BULLOCK, P.; FEDOROFF, N.; JONGERIUS, A.; STOOPS, G.; TURSINA, T.; BABEL, U. **Handbook for soil thin section description**. Wolverhampton, UK: Waine Research Publications, 1985. 152 p.
- CRESTANA, S.; VAZ, C. M. P. Non-invasive instrumentation opportunities for characterizing soil porous systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 47, n. 1-2, p. 19-26, 1998.

CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. H. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v. 3. 430 p.

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for sustainable environment**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994. (Special Publication. no. 35).

ESWARAN, H.; REICH, P. F.; KIMBLE, J. M.; BEINROTH, F. H.; PADMANABHAN, E.; MONCHAROEN, P. Global carbon stocks. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; ESWARAN, H.; STEWART, B. A. (Ed.). **Global Climate Change and Pedogenic Carbonates**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999. p. 15–25.

FAO/UNEP. **Guidelines for the control of soil degradation**. FAO: Rome, Italy, 1983, p. 102.

FAO-UNESCO, Soil map of the world 1:5,000,000. Vol. I: Legend. Rome: FAO; Paris: UNESCO, 1974.

FERREIRA, J. A.; OSIRO, D.; HERRMANN, P. S. P.; MARTIN-NETO, L. Atomic force microscopy (AFM) characterization of a tropical soil humic acid. **Acta Microscópica**, Caracas, v. 10, p. 43-47, 2001.

FITZPATRICK, E. A. **Micromorphology of Soils**. London, UK: Chapman & Hall, 1984. 433 p.

JONGERIUS, A.; RUTHERFORD, G. K. **Glossary of Soil Micromorphology**. Wageningen: Centre of Publication and Documentation, 1979. p.138.

JONGERIUS, A.; RUTHERFORD, G. K. **Glossary of Soil Micromorphology**. Wageningen, The Netherlands: Centre of Publication and Documentation, 1979. 138 p.

KELLOG, C. Soil genesis, classification and cartography: 1924–1974. **Geoderma**, Amsterdam, v. 12, p. 347–362, 1974.

KUTILEK, M.; NIELSEN, D. R. **Soil hydrology**. [S. l.]: Catena Verlag, 199-. 370 p.

LAL, R.; FOLLET, R. F.; KIMBLE, J. M.; COLE, V. R. Managing U.S. cropland to sequester carbon in soil. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 54, n. 1, p. 374–381, 1999.

LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; COLE, V. R. **The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect**. Ann Arbor, MI: Sleeping Bear Press, Inc., 1998.

LAMY, I.; BOURGEOIS, S.; BERMOND, A. Soil cadmium mobility as a consequence of sewage sludge disposal. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 22, n. 4, p. 731–737, 1993.

MARTIN-NETO, L.; ROSELL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p. 305-311, 1998.

MARTIN-NETO, L.; TRAGHETTA, D. G.; VAZ, C. M. P.; CRESTANA, S.; SPOSITO, G. On the interaction mechanisms of atrazine and hydroxyatrazine with humic substances. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 520-525, 2001.

MCDONALD, P. (Ed.). **The Literature of Soil Science**. Ithaca, NY: Cornell Univ. Press, 1994.

MERMUT, A. R.; ESWARAN, H. Some major developments in soil science since the mid-1960s. **Geoderma**, Amsterdam, v. 100, n. 3-4, p. 403-426, 2001.

MERMUT, A. R.; JAIN, J. C.; KERRICH, R.; KOZAK, L.; JANA, S. Trace element concentrations of selected soils and fertilizers in Saskatchewan, Canada. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, n. 4, p. 845–853, 1996.

MIDDLETON, N.; THOMAS, D. (Ed.). **World Atlas of Desertification**. 2nd ed. Nairobi: UNEP; London: Edward Arnold, 1997.

NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. G. E. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 1. 352 p.

NRIAGU, J. O.; PACYNA, J. M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, London, v. 333, n. 6169, p. 134–139, 1988.

QIAN, P.; SCHOENAU J. J.; HUANG, W. Z.; Use of ion exchange membranes in routing soil testing. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, n. 15-16, p. 1791–1804, 1992.

SAWHNEY, B. L.; BROWN, K. (Ed.). **Reaction and Movement of Organic Chemicals in Soils**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1989. (Special Issue, No. 22).

SCHROEDER, P. Carbon storage benefits of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 27, n. 1, p. 89-97, 1994.

SINGER, M. J.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. G-271-G-298.

SKIPPER H. D.; TURCO, R. F. (Ed.). **Bioremediation: science and application**. Madison WI: Soil Science Society of America, 1995. (Special Publ. No. 43).

SMART, P.; TOVEY, N. K. **Electron Microscopy of Soils and Sediments: Techniques**. Oxford: Oxford Univ. Press, 1982.

SMITH, J. L.; HALVORSON, J. J.; PAPENDICK, R. I. Multiple variable indicator kriging: a procedure for integrating soil quality indicators. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; Ž.; STEWART, B. A. (Ed.). **Defining Soil Quality for Sustainable Environment**. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994. p. 149-157. (Special Publication no. 35).

SOIL SURVEY STAFF. **Soil taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys**. Washington, DC: U.S. Govt. Print. Office, 1999. (USDA-SCS Agric. Handb. vol. 436).

SPARKS, D. L. **Soil Physical Chemistry**. Boca Raton: CRC Press, 1988.

SPOSITO, G.; REGINATO, R. J. (Ed.). **Opportunities in Basic Soil Science Research**. [S. l.]: SSSA Inc., 1992. 109 p.

VAN BAREN, H.; HARTEMINK, A. E.; TINKER, P. B. 75 years of the International Society of Soil Science. **Geoderma**, Amsterdam, v. 96, n. 1-2, p. 1-18, 2000.

VAN ENGELEN, V. W. P. SOTER: the world soils and terrain database. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of Soil Science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p. H-19-H-28.

VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. v. 4. 470 p.

WAGENET, R. J.; BOUMA, J. **The role of soil science in interdisciplinary research**. [S. l.]: ASA/SSSA Inc., 1996. 143 p. (SSSA Special Publication n° 45).

WEBSTER, R. The development of pedometrics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 62, p. 1-15, 1994.

WILDING, L. P.; LIN, H. Advancing the frontiers of soil science towards a geoscience. **Geoderma**, Amsterdam, v. 131, n. 3-4, p. 257-274. 2006.